

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-171175

(43)Date of publication of application : 14.06.2002

51)Int.Cl.

H03M 13/29

H03M 13/13

H03M 13/27

H04L 1/00

21)Application number : 2000-366347

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

22)Date of filing : 30.11.2000

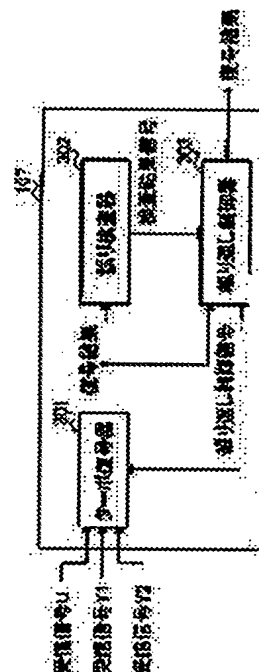
(72)Inventor : KANAI HIROKAZU  
KURIYAMA HAJIME

## 54) DECODER AND DECODING METHOD

## 57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To reduce processing delay while ensuring desired transmission quality by performing repeated decoding at the proper number of times of repetition.

**SOLUTION:** A turbo decoder 301 repeatedly performs error correction and decoding to an inputted encoded system. An error checker 302 decodes an error detection code included in the decoded result of the error correction and decoding, and checks the presence or absence of any error remaining in the decoded result of the turbo decoder 301. A repetition controller 303 allows the turbo decoder 301 to perform the repeated decoding until the number of times of repetition of the repeated decoding is more than the constrained number of times of repetition, and it is judged that any error is not present in the decoded result of the turbo decoder 301 by the error checker 302.



## LEGAL STATUS

Date of request for examination]

26.12.2002

Date of sending the examiner's decision of rejection]

Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

Date of final disposal for application]

Patent number]

3683497

Date of registration]

03.06.2005

Number of appeal against examiner's decision of rejection]

Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

Date of extinction of right]

[0039] (First embodiment)

Fig. 1 is a block diagram of a configuration of a  
5 radio communication system according to a first embodiment  
of the present invention. As shown in Fig. 1, the data  
transmission apparatus according to the embodiment encodes  
a transmit information bit string sent from an information  
source (not shown) with an error detecting code and an  
10 error correcting code at an encoder 101, modulates the  
encoded bit string at a modulator 102, and then sends it by  
radio via a transmission antenna 104 after radio  
transmission processing performed at a radio transmitter  
103. At a receiver side, signals received via an antenna  
15 105 (coded bit sequence) are received by radio and  
processed at a radio receiver 106, and then demodulated at  
a demodulator 107. The demodulated signals are subjected  
to error correction decoding at a decoder 108, and a  
receive information bit string is obtained as a result.  
20 The error detecting code typically used at the error  
detection encoder 101 is a cyclic code.

[0043] Fig. 3 is a block diagram of a configuration of  
25 the decoder 108. A turbo decoder 301 performs error  
correction decoding in an iterative manner on the received  
coded bit sequence, and outputs the decoding results to an  
error checking device 302 and to an iterative controller  
303 every time the error correction decoding is made. It  
30 is to be noted that the decoding results output from the  
turbo decoder 301 are obtained in the form of an encoded  
information bit string (i.e., error detecting code). The  
number of the iteration is controlled by the iterative

controller 303 which will be described later. The error checking device 302 detects an error in the decoding result (error detecting code) output from the turbo decoder 301, checks the error included in the decoding result, and  
5 outputs a check result signal (OK signal or NG signal) indicating the check result to the iterative controller 303. The error checking device 302 outputs the NG signal to the iterative controller 303 when an error is found. The error checking device 302 outputs the OK signal to the iterative  
10 controller 303 when no error is found. The iterative controller 303 determines whether the turbo decoder 301 continues or terminates the iterative decoding, and when the iterative decoding is terminated, the iterative controller 303 controls the turbo decode 301 so that it is  
15 terminated. This iterative controller 303 will be described in detail later.

11

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-171175

(P2002-171175A)

(43) 公開日 平成14年6月14日 (2002.6.14)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マコード*(参考)
H 0 3 M 13/29		H 0 3 M 13/29	5 J 0 6 5
13/13		13/13	5 K 0 1 4
13/27		13/27	
H 0 4 L 1/00		H 0 4 L 1/00	B
			F
審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 18 頁)			

(21) 出願番号 特願2000-366347(P2000-366347)

(22) 出願日 平成12年11月30日 (2000. 11. 30)

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 金井 宏和

神奈川県横浜市港北区綱島東四丁目3番1号 松下通信工業株式会社内

(72) 発明者 栗山 元

神奈川県横浜市港北区綱島東四丁目3番1号 松下通信工業株式会社内

(74) 代理人 100105050

弁理士 鷲田 公一

Fターム(参考) 5J065 AA01 AB01 AC02 AD10 AE06

AG06 AH20

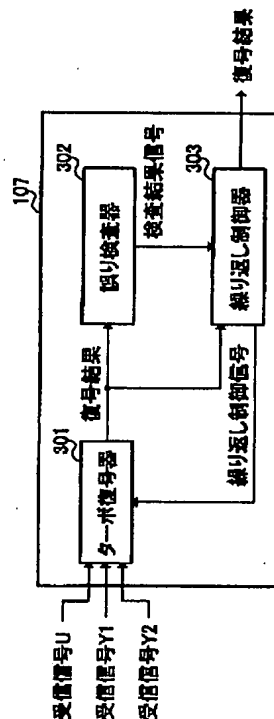
5K014 AA01 BA10 FA16 GA02

(54) 【発明の名称】 復号装置および復号方法

(57) 【要約】

【課題】 適当な繰り返し回数の繰り返し復号を行って、所望の伝送品質を確保しつつ処理遅延を低減すること。

【解決手段】 ターボ復号器301は、入力された符号化系列に対して誤り訂正復号を繰り返し行う。誤り検査器302は、誤り訂正復号の復号結果に含まれる誤り検出符号を復号して、ターボ復号器301の復号結果に残存する誤りの有無を検査する。繰り返し制御器303は、繰り返し復号の繰り返し回数が繰り返し拘束回数以上になり、且つ、誤り検査器302において復号結果に誤りが無いと判断されるまで、繰り返し復号を行わせる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 情報ビットに誤り検出符号化および誤り訂正符号化を施して得られた符号化系列に対して誤り訂正復号を繰り返し行う繰り返し復号手段と、前記繰り返し復号手段における誤り訂正復号の復号結果に含まれる誤り検出符号により、前記復号結果に残存する誤りの有無を検査する検査手段と、前記繰り返し復号手段における繰り返し回数が繰り返し拘束回数以上になるまで前記繰り返し復号手段に繰り返し復号を行わせて、前記検査手段における見逃し誤りの発生を抑える制御手段と、を具備することを特徴とする復号装置。

【請求項 2】 制御手段は、繰り返し復号手段における繰り返し回数が繰り返し拘束回数以上になり、且つ、検査手段において前記繰り返し復号手段における誤り訂正復号の復号結果に誤りが無いと判断される場合に、前記繰り返し復号手段に繰り返し復号を終了させることを特徴とする請求項 1 に記載の復号装置。

【請求項 3】 情報ビットに誤り検出符号化および誤り訂正符号化を施して得られた符号化系列に対して誤り訂正復号を繰り返し行う繰り返し復号手段と、前記繰り返し復号手段における誤り訂正復号の復号結果に含まれる少なくとも 2 つ以上の誤り検出符号により、前記復号結果に残存する誤りの有無を検査する検査手段と、前記検査手段にて検査した全ての誤り検出符号について繰り返し復号の間に少なくとも 1 回誤りが無いと判断されるまで繰り返し復号を行わせる制御手段と、を具備することを特徴とする復号装置。

【請求項 4】 制御手段は、繰り返し復号手段における繰り返し回数が繰り返し拘束回数以上になり、且つ、検査手段にて検査した全ての誤り検出符号について繰り返し拘束回数以降の繰り返し復号の間に少なくとも 1 回誤りが無いと判断される場合に、前記繰り返し復号手段に繰り返し復号を終了させることを特徴とする請求項 3 に記載の復号装置。

【請求項 5】 制御手段は、検査手段にて検査した全ての誤り検出符号が同じ繰り返し回数において誤り無しと判定された場合に繰り返し拘束回数未満の繰り返し回数であっても繰り返し復号を終了させることを特徴とする請求項 3 又は請求項 4 に記載の復号装置。

【請求項 6】 繰り返し復号手段における誤り訂正復号の復号結果について、繰り返し拘束回数以降の繰り返し回数においてのみ復号結果を出力する出力手段を具備することを特徴とする請求項 1、請求項 2、又は請求項 4 のいずれかに記載の復号装置。

【請求項 7】 繰り返し復号手段における誤り訂正復号の復号結果に含まれる誤り検出符号のなかで、検査手段において未だ誤り無しと判定されていない誤り検出符号のみを復号結果として出力する出力手段を具備することを特徴とする請求項 3 から請求項 5 のいずれかに記載の復号装置。

【請求項 8】 請求項 1 から請求項 7 のいずれかに記載の復号装置を備えたことを特徴とする基地局装置。

【請求項 9】 請求項 1 から請求項 7 のいずれかに記載の復号装置を備えたことを特徴とする通信端末装置。

【請求項 10】 情報ビットに誤り検出符号化および誤り訂正符号化を施して得られた符号化系列に対して誤り訂正復号を繰り返し行う復号方法において、誤り訂正復号の復号結果に含まれる誤り検出符号により、前記復号結果に残存する誤りの有無を検査する検査工程と、繰り返し復号の繰り返し回数が繰り返し拘束回数以上になり、且つ、前記検査工程において前記復号結果に誤りが無いと判断されるまで、繰り返し復号を行わせる工程と、を具備することを特徴とする復号方法。

【請求項 11】 情報ビットに誤り検出符号化および誤り訂正符号化を施して得られた符号化系列に対して誤り訂正復号を繰り返し行う復号方法において、誤り訂正復号の復号結果に含まれる少なくとも 2 つ以上の誤り検出符号により、前記復号結果に残存する誤りの有無を検査する検査工程と、全ての誤り検出符号について繰り返し復号の間に少なくとも 1 回誤りが無いと判断されるまで繰り返し復号を行わせる工程と、を具備することを特徴とする復号方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、情報ビットに誤り検出符号化および誤り訂正符号化を施して得られた符号化系列を繰り返し復号する復号装置および復号方法に関し、特にターボ符号により誤り訂正符号化を施された符号化系列を復号する復号装置および復号方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 移動通信分野では、伝送路において雑音などにより発生する誤りを検出し、訂正する技術が盛んに研究されている。特にデジタル通信においては、等化やダイバーシチなどの信号処理で回復しきれなかった誤りを訂正する誤り制御技術が広く用いられている。この誤り制御技術は、自動再送要求 (ARQ; Automatic Repeat reQuest) と前方誤り訂正 (FEC; Forward Error Correction) とに大きく分けられる。ARQ は、情報ビットを誤り検出符号化して得られた符号化系列を伝送し、受信側の再送要求により誤りとなった情報ビットを再送して復号結果の信頼度を確保する技術である。一方、FEC は、送信側において情報ビットに誤り訂正符号化を施して得られた符号化系列を伝送し、受信側において受信信号に含まれる誤りを訂正する技術である。FEC は、再送要求のための帰還チャネルを持たない通信システムや、再送による遅延が許されない通信システムにおいて特に有効である。

【0003】 上述した FEC における誤り訂正符号の 1 つとして、畳み込み符号が知られている。畳み込み符号化を行う符号器は、一般にシフトレジスタと mod 2 演算

を行う加算器とにより構成される。この符号器に $m$ ビットの情報ビット列が入力されると、その $m$ ビットの情報ビット列が畳みこまれて $n$ ビット( $n > m$ とする)の情報ビット列が出力される。これにより、 $m$ ビットの情報ビット列に「 $n-m$ 」ビットの冗長ビット列が付加されたことになるので、復号時に誤り率を低くすることが出来る。

【0004】近年、上述した誤り訂正符号の中でも、情報を誤り無しに伝送することができる伝送速度の理論上の限界として知られるシャノン限界に迫る符号として、ターボ符号が脚光を浴びている。従来のターボ符号については、「Near Optimum Error Correcting Coding and Decoding: Turbo-codes (IEEE Transaction on Communications, Vol. 44, No. 10, October 1996)」、「Turbo符号のW-CDMAへの適用効果(電子情報通信学会技術研究報告, pp. 19-24, 1997年12月)」等の文献に記載されている。これらの文献に記載されているように、ターボ符号における情報ビット列の誤り訂正符号化は、並列に配置された2つ以上の畳み込み符号器と情報ビット列の攪拌を行うインタリーブとを有して構成されるターボ符号器によって行われる。ターボ符号の復号は、受信側に備えられたターボ復号器において、誤り訂正復号を繰り返し行うことにより行われる。ターボ復号器は、送信側のターボ符号器に対応する構成を採る。

【0005】上述したターボ符号器について、符号化率が $1/3$ のターボ符号器を例に説明する。符号化率が $1/3$ のターボ符号器には、2つの畳み込み符号器が並列に配置される。このターボ符号器に入力された情報ビット列は3系統に分配される。第1系統では、入力情報ビット列は何らの変更も加えられずに符号化系列 $u$ として出力される。第2系統では、入力情報ビット列は畳み込み符号器において誤り訂正符号化され、符号化系列 $y_1$ として出力される。第3系統では、入力情報ビット列は、インタリーブで並び順が変更されてから畳み込み符号器において誤り訂正符号化され、符号化系列 $y_2$ として出力される。これらの符号化系列 $u$ 、符号化系列 $y_1$ 、および符号化系列 $y_2$ は、ターボ符号器から出力された後、所定の無線送信処理を施されて無線送信される。無線送信された符号化系列 $u$ 、符号化系列 $y_1$ 、および符号化系列 $y_2$ は、伝送路上で雑音が付加されて、ターボ復号器を備えた受信装置に受信される。

【0006】受信装置は、送信装置から送信された符号化系列 $u$ 、符号化系列 $y_1$ 、および符号化系列 $y_2$ に伝送路上で雑音が付加された符号化系列を受信してターボ復号器に入力する。ここで、符号化系列 $u$ に伝送路上で雑音が付加されて受信された符号化系列を符号化系列 $U$ とし、符号化系列 $y_1$ に伝送路上で雑音が付加されて受信された符号化系列を符号化系列 $Y_1$ とし、符号化系列 $y_2$ に伝送路上で雑音が付加されて受信された符号化系

列を符号化系列 $Y_2$ とする。

【0007】次いで、ターボ復号器について説明する。ターボ復号器は、MAP復号(Maximum A Posteriori Probability decoding: 最大事後確率復号)やSOVA(Soft Output Viterbi Algorithm: 軟出力ビタビアルゴリズム)などの軟出力復号アルゴリズムにより軟判定値を計算する軟出力復号器と、送信側のターボ符号器に備えられたインタリーブと同じ並び替えを行うインタリーブと、インタリーブで並び替えられた情報ビット列を元の並び順に戻すデインタリーブと、を備えて構成される。軟出力復号器は、送信側における畳み込み符号化器と同じ数だけ設けられる。尚、軟出力復号器を時分割に用いて復号処理することにより、畳み込み符号器より少ない数の軟出力復号器を備えてターボ復号器を構成することも出来る。

【0008】このターボ復号器において、符号化系列 $U$ は、符号化系列 $Y_1$ および符号化系列 $Y_2$ の2つの冗長ビットと、繰り返しの前の回の軟出力復号結果からフィードバックされた事前尤度を用いて、誤り訂正復号が繰り返し行われる。以下、本明細書においては、符号化系列に対して誤り訂正復号を繰り返し行うことを“繰り返し復号”と呼ぶ。図11にターボ復号器により繰り返し復号した復号結果のBER(ビット誤り率; Bit Error Rate)とSNR(信号対雑音比; Signal to Noise Ratio)との関係を繰り返し回数毎に示す。この図に示すように、同じSNRであっても(つまり、伝送路環境が同じであっても)、復号を繰り返し行うことによりBERが下がって行く。つまり、ターボ復号では、復号を繰り返し行うことにより、高い誤り訂正能力を実現し、高い伝送品質を得ることが出来る。

【0009】尤も、上述したターボ復号において高い伝送品質を得るためには、相当数の繰り返し処理が必要であるため、高い伝送品質が要求される通信システムにターボ符号化/ターボ復号を適用すると、繰り返し回数の増加により処理遅延および消費電力も大きくなるという問題がある。この問題に対して、繰り返し復号の繰り返し回数を最適化する技術が、特開2000-183758号公報(「復号装置及び復号方法、並びに符号化装置及び符号化方法」)に開示されている。上記特開平2000-183758号公報記載の復号装置は、復号処理を繰り返すたびに復号結果に残存する誤りを検査し、誤りが無いと判断された場合に繰り返し復号処理を終了する。これにより、所望の伝送品質を確保しつつ、不必要な繰り返し復号を行うことによる処理遅延を抑えることが出来る。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記特開平2000-183758号公報に開示されている技術では、復号結果に誤りが残存しているにもかかわらず、その誤りを検出することが出来ない場合(見逃し誤

りが発生した場合)には、復号結果に誤りが残存したままで繰り返し復号が終了してしまい、伝送品質を低下させてしまうという問題がある。

【0011】また、上記特開平2000-183758号公報に開示されている技術以外にも、繰り返し復号の繰り返し回数を最適化する技術として、複数の誤り検出符号を含む誤り訂正符号を繰り返し復号し、その復号結果に含まれる全ての誤り検出符号を復号して誤りを検査し、検査した全ての誤り検出符号について誤りが無いと判定された場合に繰り返し復号を終了する技術も知られている。この技術によれば、誤り訂正符号に含まれる全ての誤り検出符号について繰り返し復号の同じ繰り返し回数において誤りなしと判定された場合に限り繰り返し復号を終了するので、見逃し誤りが発生するリスクを軽減することができる。これは、畳込み符号の復号では、誤りの残存が符号内で相関を持つため、一つの誤り検出符号による検出に比べ、複数の誤り検出が同じ繰り返し回数において誤り無しとした場合の見逃し誤りの確率が下がることが期待できるためである。しかし、この複数の誤り検出符号を用いる技術では、見逃し誤りにより伝送品質が劣化するリスクは軽減されるが、誤り訂正符号に含まれる全ての誤り検出符号について誤り無しと判定されるまで繰り返し復号を継続するので繰り返し回数が増加してしまい、処理遅延および消費電力が増加するという問題がある。

【0012】さらに、繰り返し復号の繰り返し回数を最適化する技術として、予め決められた回数だけ復号を繰り返す技術が知られている。しかしながら、ターボ符号の復号では、統計的には図11に示すように繰り返し回数を増やすほどBERが改善されるが、1つの誤り訂正符号についてのみ着目した場合には、ある繰り返し回数で誤りがなくなっても、さらに繰り返し復号を続けると、再び誤りが発生する場合があるという特徴がある。このため、この予め決められた回数だけ復号を繰り返す技術では、繰り返しの途中で復号結果に誤りが無くなった場合であっても、必ず予め決められた回数だけ繰り返し復号するので、繰り返しの途中で誤りが無くなっていた情報ビット列にも再び誤りが生じてしまう場合がある。すなわち、予め決められた回数だけ復号を繰り返す方法では、最終的に得られた復号結果が最も誤りの少ない復号結果とは限らず、さらに不必要な誤り訂正復号を繰り返してしまうため、処理遅延が増大し、消費電力が増加するという問題がある。

【0013】本発明は上記実情に鑑みてなされたものであり、適当な繰り返し回数の繰り返し復号を行って、所望の伝送品質を確保しつつ処理遅延を低減することが出来る復号装置および復号方法を提供することを目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明の復号装置は、情

報ビットに誤り検出符号化および誤り訂正符号化を施して得られた符号化系列に対して誤り訂正復号を繰り返し行う繰り返し復号手段と、前記繰り返し復号手段における誤り訂正復号の復号結果に含まれる誤り検出符号を復号して、前記復号結果に残存する誤りの有無を検査する検査手段と、前記復号手段における繰り返し回数が繰り返し拘束回数以上になるまで前記繰り返し復号手段に繰り返し復号を行わせて、前記誤り検出手段における見逃し誤りの発生を抑える制御手段と、を具備する構成を採る。

【0015】この構成によれば、誤り訂正復号の復号結果の誤り率が比較的高く、見逃し誤りが発生し易い繰り返し復号の初期の段階で、繰り返し復号を誤って終了することが無いので、伝送品質を向上させることが出来る。

【0016】本発明の復号装置は、上記復号装置において、制御手段は、繰り返し復号手段における繰り返し回数が繰り返し拘束回数以上になり、且つ、前記検査手段において前記復号結果に誤りが無いと判断される場合に、前記繰り返し復号手段に繰り返し復号を終了させる構成を採る。

【0017】この構成によれば、誤り訂正復号の復号結果に残存する誤りの有無を検査し、誤り訂正復号の復号結果の誤り率が低くなってから、信頼度の高い検査結果に基づいて誤りが無いと判断された場合に繰り返し復号を終了させるので、伝送品質を向上させることができる。また、不必要な繰り返しを行わないため、繰り返し復号による処理遅延および消費電力を低減することが出来る。

【0018】本発明の復号装置は、情報ビットに誤り検出符号化および誤り訂正符号化を施して得られた符号化系列に対して誤り訂正復号を繰り返し行う繰り返し復号手段と、前記繰り返し復号手段における誤り訂正復号の復号結果に含まれる少なくとも2つ以上の誤り検出符号を復号して、前記復号結果に残存する誤りの有無を検査する検査手段と、前記検査手段にて検査した全ての誤り検出符号について繰り返し復号の間に少なくとも1回誤りが無いと判断されるまで繰り返し復号を行わせる制御手段と、を具備する構成を採る。

【0019】この構成によれば、全ての誤り検出符号について繰り返し復号の同じ繰り返し回数で誤り無しと判定された場合に繰り返し復号を終了する手法と比較して、伝送品質を維持したまま繰り返し回数を短縮することが出来る。

【0020】本発明の復号装置は、上記復号装置において、制御手段は、繰り返し復号手段における繰り返し回数が繰り返し拘束回数以上になり、且つ、検査手段にて検査した全ての誤り検出符号について繰り返し拘束回数以降の繰り返し復号の間に少なくとも1回誤りが無いと判断される場合に、前記繰り返し復号手段に繰り返し復

号を終了させる構成を採る。

【0021】この構成によれば、見逃し誤りにより誤って繰り返しを終了することを防止することが出来るとともに、不必要な繰り返しを行わずに処理遅延および消費電力を低減することが出来る。

【0022】本発明の復号装置は、上記復号装置において、制御手段は、検査手段にて検査した全ての誤り検出符号が同じ繰り返し回数において誤り無しと判定された場合に繰り返し拘束回数未満の繰り返し回数であっても繰り返し復号を終了させる構成を採る。

【0023】この構成によれば、全ての誤り検出符号において誤りが検出されなかった場合に直ちに繰り返し復号が終了するので、受信品質を維持しつつ不必要な繰り返しを行うことを防止することが出来る。

【0024】本発明の復号装置は、上記復号装置において、繰り返し復号手段における誤り訂正復号の復号結果について、繰り返し拘束回数以降の繰り返し回数においてのみ復号結果を出力する出力手段を具備する構成を採る。

【0025】本発明の復号装置は、上記復号装置において、繰り返し復号手段における誤り訂正復号の復号結果に含まれる誤り検出符号のなかで、検査手段において未だ誤り無しと判定されていない誤り検出符号のみを復号結果として出力する出力手段を具備する構成を採る。

【0026】これらの構成によれば、復号結果をメモリに書き込む回数を減らすことが出来るので、消費電力を低減することが出来る。

【0027】本発明の基地局装置は、上記復号装置を具備する構成を採る。この構成によれば、基地局装置において復号結果の伝送品質を維持しつつ、繰り返し復号による処理遅延を低減することが出来る。

【0028】本発明の通信端末装置は、上記復号装置を具備する構成を採る。この構成によれば、通信端末装置において復号結果の伝送品質を維持しつつ、繰り返し復号による処理遅延および消費電力を低減することが出来る。

【0029】本発明の復号方法は、情報ビットに誤り検出符号化および誤り訂正符号化を施して得られた符号化系列に対して誤り訂正復号を繰り返し行う復号方法において、誤り訂正復号の復号結果に含まれる誤り検出符号を復号して、前記復号結果に残存する誤りの有無を検査する検査工程と、繰り返し復号の繰り返し回数が繰り返し拘束回数以上になり、且つ、前記検査工程において前記復号結果に誤りが無いと判断されるまで、繰り返し復号を行わせる工程と、を具備するようにした。

【0030】この方法によれば、誤り訂正復号の復号結果に残存する誤りの有無を検査し、誤り訂正復号の復号結果の誤り率が低くなってから、信頼度の高い検査結果に基づいて誤りが無いと判断された場合に繰り返し復号を終了させるので、伝送品質を向上させることができ

る。また、不必要な繰り返しを行わないため、繰り返し復号による処理遅延を低減することが出来る。

【0031】本発明の復号方法は、情報ビットに誤り検出符号化および誤り訂正符号化を施して得られた符号化系列に対して誤り訂正復号を繰り返し行う復号方法において、誤り訂正復号の復号結果に含まれる少なくとも2つ以上の誤り検出符号により、前記復号結果に残存する誤りの有無を検査する検査工程と、全ての誤り検出符号について繰り返し復号の間に少なくとも1回誤りが無いと判断されるまで繰り返し復号を行わせる工程と、を具備するようにした。

【0032】この方法によれば、全ての誤り検出符号について繰り返し復号の同じ繰り返し回数で誤り無しと判定された場合に繰り返し復号を終了する手法と比較して、伝送品質を維持したまま繰り返し回数を短縮することが出来る。

【0033】

【発明の実施の形態】 前述したように、復号処理を繰り返すたびに誤り検出符号を復号して繰り返し復号の復号結果に残存する誤りを検査し、繰り返し復号の復号結果から誤りが検出されなくなるまで誤り訂正符号を繰り返し復号する技術が、従来から知られている。この技術によれば、所望の伝送品質を確保しつつ、不必要な繰り返し復号を行うことによる処理遅延および消費電力を低く抑えることが出来る。

【0034】本発明者は、まず、符号化系列に含まれる誤りが多いほど誤りの検出に過誤が生じ易いという誤り検出符号の特質に着目した。そして、本発明者は、図11に示すように繰り返し復号の繰り返し回数が少ない段階では復号結果の誤り率が高いため誤り検出符号による誤りの検出に過誤が生じ易いことに着目し、繰り返し回数が少ない段階では誤り検出符号による誤りの検出結果にかかわらず繰り返し復号を継続することにより、誤りが残存した状態で繰り返し復号を終了することを防止することが出来ることを見出して本発明をするに至った。

【0035】すなわち、本発明の第1の骨子は、繰り返し復号における繰り返し回数が少ない段階では、繰り返し復号の復号結果から誤りが検出されなくとも繰り返し復号を継続することにより、見逃し誤りによる伝送品質の劣化を防止することである。具体的には、本発明の骨子は、繰り返し回数の繰り返し拘束回数を設定し、この繰り返し拘束回数を超え、且つ、復号結果から誤りが検出されなくなるまで繰り返し復号を行うことである。

【0036】また、本発明者は、複数の誤り検出符号を含む誤り訂正符号の繰り返し復号において、1つの誤り検出符号について誤り無しとなっても他の誤り検出符号については誤り無しとなっているとは限らないので、全ての誤り検出符号について誤りが無くなるまで繰り返し復号を行う場合には、一旦誤りがなくなった誤り検出符号に対してもさらに繰り返し復号を行なうことになっ

10

20

30

40

50

て、再び誤りが発生するおそれがあることに着目した。また、本発明者は、夫々の誤り検出符号については、全ての誤り検出符号の誤りがなくなる繰返し回数よりも前に、誤りが無くなっている場合があることに着目した。そして、本発明者は、誤り検出符号ごとに誤り検出を行い、誤り検出により誤り無しとなった繰返し回数での復号結果をその都度出力することで、全ての誤り検出符号について誤り無しとなる繰返し回数まで繰返し復号を続けなくても、すべての誤り検出符号について誤りのない復号結果を得られることを見出し、本発明をするに至った。

【0037】すなわち、本発明の第2の骨子は、繰返し復号による復号結果に含まれる複数の誤り検出符号により、繰返し復号の復号結果に残存する誤りの有無を検査し、検査した全ての誤り検出符号について繰返し復号の間に少なくとも1回誤りが無いと判断されるまで繰返し復号を行うことである。

【0038】以下、本発明の各実施形態について添付図面を参照して説明する。各実施の形態における説明では、繰返し復号の一つとしてターボ復号を例に説明する。

【0039】（実施の形態1）図1は、本発明の実施の形態1に係る無線通信システムの構成を示すブロック図である。この図に示すように、本実施の形態に係るデータ伝送装置は、図示しない情報源から送られる送信情報ビット列を符号化部101で誤り検出符号化および誤り訂正符号化し、変調部102で変調し、無線送信部103で無線送信処理をして送信アンテナ104から無線送信する。また、受信側では、アンテナ105から受信した信号（符号化系列）を無線受信部106で無線受信処理し、復調部107で復調し、復号部108で誤り訂正復号して受信情報ビット列を得る。誤り検出符号化部101で用いる誤り検出符号としては、巡回符号が代表的である。

【0040】図2は符号化部102に備えられたターボ符号化器の構成を示すブロック図である。この図に示すように、ターボ符号化器は、再帰的組織畳み込み符号器201と、送信情報ビット列を攪拌するインタリーバ202と、再帰的組織畳み込み符号器203と、を備えて構成される。再帰的組織畳み込み符号器201および再帰的組織畳み込み符号器203は、組織畳み込み符号化を行うので、非組織畳み込み符号化を行う場合よりも優れた誤り率特性を有する。

【0041】上記ターボ符号化器において、送信情報ビット列は、何らの変更も加えられずに符号化系列uとして出力されるとともに、再帰的組織畳み込み符号器201およびインタリーバ202に入力される。再帰的組織畳み込み符号器201は、入力ビット列を畳み込み符号化し、符号化系列y1を生成する。インタリーバ202は、入力ビット列を攪拌して再帰的組織畳み込み符号器

203に出力する。再帰的組織畳み込み符号器203は、インタリーバ202から出力された情報ビット列を畳み込み符号化して符号化系列y2を生成する。これらの符号化系列u、符号化系列y1、および符号化系列y2は、変調部102により変調され、無線送信部103において所定の無線送信処理を施されてアンテナ104から無線送信される。無線送信された符号化系列u、符号化系列y1、および符号化系列y2は、伝送路上で雑音が付加されて、受信側のアンテナ105から受信される。

【0042】受信側は、送信装置から送信された符号化系列u、符号化系列y1、および符号化系列y2に伝送路上で雑音が付加された符号化系列をアンテナ105から受信して、無線受信部106で無線受信処理を施し、復調部107で復調して復号部108に入力する。ここで、符号化系列uに伝送路上で雑音が付加されて受信された符号化系列を符号化系列Uとし、符号化系列y1に伝送路上で雑音が付加されて受信された符号化系列を符号化系列Y1とし、符号化系列y2に伝送路上で雑音が付加されて受信された符号化系列を符号化系列Y2とする。

【0043】図3は、復号部108の構成を示すブロック図である。ターボ復号器301は、受信した符号化系列に対して誤り訂正復号を繰返し行い、誤り訂正復号を行うたびにその復号結果を誤り検出器302および繰返し制御器303に出力する。なお、ターボ復号器301から出力される復号結果は、誤り検出符号化された情報ビット列（つまり誤り検出符号）として得られる。この繰返し回数は後述する繰返し制御器303により制御される。誤り検出器302は、ターボ復号器301より出力された復号結果（誤り検出符号）を誤り検出して、この復号結果に含まれる誤りを検査し、検査結果を示す検査結果信号（OK信号またはNG信号）を繰返し制御器303に出力する。誤り検出器302は、誤りが有ると判断した場合には、NG信号を繰返し制御器303へ出力する。逆に、誤りが無いと判断した場合には、OK信号を繰返し制御器303へ出力する。繰返し制御器303は、ターボ復号器301が繰返し復号を継続するか終了するかを判定し、繰返しを終了する場合にはターボ復号器301を制御して繰返し復号を終了させる。この繰返し制御器303については後に詳述する。

【0044】次いで、ターボ復号器301について図4を参照して説明する。図4は、本発明の実施の形態1に係るターボ復号器301の構成を示すブロック図である。ターボ復号器301には、符号化系列U、符号化系列Y1、符号化系列Y2が入力され、バッファ406に保持される。

【0045】まず、バッファ406から符号化系列Uおよび符号化系列Y1が軟出力復号器401に出力される。軟出力復号器401は、軟出力復号により、バッフ

10

20

30

40

50

ア 406 から出力された符号化系列 U、符号化系列 Y 1、およびデインタリーバ 404 から出力される前回の復号結果である事前尤度に基づいて軟出力復号結果を計算し、インタリーバ 402 へ出力する。なお、繰り返しの初回では、前回の復号結果は存在しないので事前尤度はゼロとする。インタリーバ 402 は、軟出力復号器 401 から出力された軟出力復号結果を、送信側のターボ符号化部 102 に備えられたインタリーバ 202 と同じ方式で撹拌し、軟出力復号器 403 に事前尤度として出力する。また、バッファ 406 からインタリーバ 407 に対して符号化系列 U が出力され、インタリーバ 407 により送信側のターボ符号化部 102 に備えられたインタリーバ 202 と同じ方式で撹拌し、撹拌した符号化系列 U' を軟出力復号器 403 に出力する。さらに、バッファ 406 から軟出力復号器 403 に対して符号化系列 Y 2 が出力される。軟出力復号器 403 は、インタリーバ 402 およびインタリーバ 407 から出力された事前尤度および符号化系列 U' と符号化系列 Y 2 とに基づいて、軟出力復号を用い、さらに軟出力復号結果を生成し、デインタリーバ 404 に出力する。

【0046】デインタリーバ 404 は、軟出力復号器 403 から出力された軟判定値をデインタリーブし、インタリーバ 402 で撹拌された情報ビット列を元の並び順の情報ビット列に戻す。デインタリーブされた軟出力復号結果は、硬判定器 405 で硬判定され、「0」または「1」の硬判定値に変換される。この硬判定値がターボ復号器 301 における復号結果となる。なお、この段階での硬判定値には誤り検出符号化の際に付加された冗長ビットが含まれている。また、デインタリーバ 404 においてデインタリーブされた軟出力復号結果は、事前尤度として軟出力復号器 401 にフィードバックされる。

【0047】上述した軟出力判定器 401～インタリーバ 402～軟出力判定器 403～デインタリーバ 404 により構成されるフィードバック回路において行われる一連の軟出力復号処理によって、符号化系列が誤り訂正復号される。この軟出力判定器 401～インタリーバ 402～軟出力判定器 403～デインタリーバ 404 により構成されるフィードバック回路において行われる一連の軟出力復号処理を繰り返すことにより繰り返し復号が行われる。繰り返し制御器 303 から繰り返し復号を終了するよう制御されると、硬判定器 405 から出力された硬判定結果を最終的な復号結果とし、復号を終了する。

【0048】このように、上述したターボ復号器 301 は、符号化系列 U、符号化系列 Y 1 および符号化系列 Y 2 を用いて繰り返し復号する。図 11 にターボ復号器により繰り返し復号した復号結果の BER (ビット誤り率; Bit Error Rate) と SNR (信号対雑音比; Signal to Noise Ratio) との関係を示す。この図に示すように、同じ SNR であっても (つまり、

伝送路環境が同じであっても)、復号を繰り返すことにより BER が下がって行く。つまり、ターボ復号では、復号を繰り返すことにより、高い誤り訂正能力を実現し、高い伝送品質を得ることが出来る。

【0049】図 5 は、繰り返し制御器 303 の構成を示すブロック図である。繰り返し制御器 303 は、ターボ復号器の繰り返し回数を計数するカウンタ 501 と、ターボ復号器 301 における繰り返し回数の“繰り返し拘束回数”を記憶するメモリ 502 と、ターボ復号器 301 における繰り返し復号を終了させるか否かを判定する判定回路 503 と、ターボ復号器 301 の復号結果を受け取って、判定回路 503 の制御に応じてその復号結果を図示しない復号結果出力メモリに出力するか否かを制御する出力制御回路 504 と、から主に構成される。

【0050】上記繰り返し制御回路 503 の動作について説明する。まず、カウンタ 501 は、ターボ復号器 301 における復号処理の繰り返し回数を計数して判定回路 503 に出力する。すなわち、カウンタ 501 には初期値として「1」が設定されており、ターボ復号器 301 から繰り返し回数が 1 度目の復号結果を受け取ると、初期値「1」を判定回路 503 に出力する。また、判定回路 503 に「1」を出力する動作と並行して設定値を「1」から「2」へ更新する。次いで、ターボ復号器 301 から繰り返し回数が 2 度目の復号結果を受け取ると、設定されている「2」を判定回路 503 に出力し、「2」の出力と並行して設定値を「2」から「3」へ更新する。このように、カウンタ 501 は、ターボ復号器 301 から復号結果が出力される度に設定値を判定回路 503 に出力するとともに、設定値をインクリメントして新たな設定値として設定する。また、カウンタ 501 は、判定回路 503 が繰り返し復号を終了すると判定すると、判定回路 503 の制御に従って設定値をリセットして初期値「1」を設定値とする。このように、カウンタ 501 は、ターボ復号器 301 における誤り訂正復号の繰り返し回数に対応した設定値を判定回路 503 に出力する。

【0051】メモリ 502 には、ターボ復号器 301 における繰り返し回数の“繰り返し拘束回数”が記憶されている。判定回路 503 は、メモリ 502 から“繰り返し拘束回数”を読み出して、カウンタ 501 の出力信号が示すターボ復号器 301 の誤り訂正復号の繰り返し回数と比較する。そして、実際の繰り返し回数 (カウンタ 501 から出力される設定値) が、“繰り返し拘束回数”以上の場合に限り、ターボ復号器 301 から出力される復号結果の誤りの有無を判断し、繰り返し復号を終了するか否かを判定する。すなわち、実際の繰り返し回数が“繰り返し拘束回数”未満である場合には、誤り検査器 302 における検査結果が過誤である可能性が高いことから、繰り返し復号を終了するかどうかの判定は行わない。このため、実際の繰り返し回数が“繰り返し拘束

10

20

30

40

50

回数”未満である場合には、繰り返し復号を終了させる制御は行われず、ターボ復号器301における繰り返し復号は繰り返し拘束回数以上の繰り返し回数までは最低限継続する。判定回路503における繰り返し復号を終了するか否かの判定は、カウンタ501から出力される繰り返し回数、メモリ502から出力される繰り返し回数の繰り返し拘束回数、および誤り検査器302から出力される検査結果信号（OK信号またはNG信号）を参照して行われる。

【0052】判定回路503は、実際の繰り返し回数が“繰り返し拘束回数”以上であった場合には、出力制御回路504に対して、ターボ復号器301から出力された復号結果を図示しない復号結果出力メモリに出力するよう指示する。出力制御回路504は、判定回路503からの出力指示を受けると、ターボ復号器301から出力される復号結果を図示しない復号結果出力メモリに出力する。このように、繰り返し拘束回数未満の繰り返し回数のときには、復号結果出力メモリへの書込みを行わないことにより、無駄なメモリ書込み時の消費電力を削減することが出来る。また、判定回路503は、実際の繰り返し回数が“繰り返し拘束回数”以上であり、且つ、誤り検査器302からの出力信号がOK信号の場合には、ターボ復号器301に対して、現在の符号化系列の繰り返し復号を終了させる制御を行う。判定回路503は、実際の繰り返し回数が“繰り返し拘束回数”以上であっても、誤り検査器302からの出力信号がNG信号の場合には、繰り返し復号を終了させる制御を行わない。この場合、判定回路503は、ターボ復号器に対して、繰り返し復号を継続する制御を行う。このように、判定回路503は、繰り返し回数が繰り返し拘束回数以上になり、且つ、復号結果に誤りが無くなるまでターボ復号器301に繰り返し復号を行なわせる。ターボ復号器301は、判定回路503の制御に従って“繰り返し拘束回数”よりも少ない繰り返し回数の場合は、繰り返し復号を継続する。

【0053】尚、本実施の形態では、繰り返し回数が繰り返し拘束回数以上になり、且つ、復号結果に誤りが無くなるまで繰り返し復号を継続するとしたが、繰り返し回数の上限をあらかじめ設定しておき、その上限の繰り返し回数までに復号結果に誤りがなくなならない場合には、上限の繰り返し回数だけ繰り返しを行なったときに繰り返し復号を終了しても良い。伝走路において符号化系列に大きな雑音を加えられた場合には、繰り返し復号を継続してもすべての誤り検出符号について誤り無しとならない場合があるためである。このように繰り返し回数に上限を設けることにより、無駄に繰り返しを継続して、処理遅延および消費電力を増大させることを防ぐことが出来る。

【0054】ここで、ターボ復号器301における繰り返し回数の“繰り返し拘束回数”について詳しく説明す

る。符号化理論において、情報ビットに誤り検出符号化を施して得られた符号語の最小距離を超える個数の誤りが生じた場合には、誤り検出符号を復号しても誤りを正しく検査することが出来ない場合があることが知られている。すなわち、ある符号語に最小距離を超える個数の誤りが生じると、誤っている符号語が他の符号語と一致してしまうことがある。この場合には、誤りが有るにもかかわらず誤りが無いと判断されて、いわゆる“見逃し誤り”が発生してしまう。一般に、復号結果に誤りが含まれているにもかかわらず、その誤りを検出することが出来ず、最終的な復号結果に誤りが含まれてしまうことを“見逃し誤り”が発生するという。

【0055】一方、図11に示すように、ターボ符号は、繰り返し復号を行う際の繰り返し回数が多くなるほど誤り率が低下するという特性を有する。すなわち、復号結果に含まれる誤りは、繰り返し回数が多くなるほど減少する。

【0056】したがって、繰り返し復号の初期の段階（誤り率が高い段階）で行う誤りの検出は信頼性が低く、繰り返し復号を重ねるにつれて誤り検出の信頼度が上がって行くことが分かる。

【0057】そこで、本実施の形態における繰り返し復号では、繰り返し復号の初期の段階では、誤り検出符号による誤りの有無の検査は信頼度が低いので、誤りが無いと判断された場合であっても繰り返し復号を継続する。そして、所定の回数以上繰り返し復号を行って、復号結果に含まれる誤りが減少した後で、復号結果に誤りが無いと判断された場合に、繰り返し復号を終了して最終的な復号結果を得る。本明細書においては、この所定の回数を“繰り返し拘束回数”と呼ぶ。“繰り返し拘束回数”以上繰り返し復号を行うことにより、見逃し誤りの発生を少なくすることが出来る。以上説明したように、本発明では、繰り返し回数が“繰り返し拘束回数”以上になり、且つ、誤り検出符号により繰り返し復号の復号結果に誤りが無いと判断されるまで繰り返し復号を行う。

【0058】表1に、誤りビット数、BER、および見逃し誤りの回数を繰り返し回数毎に測定したシミュレーション結果を示す。このシミュレーション結果は、640ビットの送信情報ビット列に、8ビットのCRC符号を用いた誤り検出符号化を施し、さらにターボ符号化し、簡易な変調を施した後白色ガウス雑音を付加し、ターボ復号およびCRC検査を行なったときの結果を示したもので、繰り返し回数8回でBERが10の-6乗付近となる雑音レベルの条件下で測定を行った場合の例であり、繰り返し回数と見逃し誤りとの関係は表1に示すものに限られず、シミュレーションの際の条件に応じて適宜変更される。

【表1】

繰り返し回数ごとの誤りビット数、  
BERと誤り検出の見逃し誤りの回数

	誤りビット数	BER	見逃し 誤り回数
繰り返し1回目	10776260	0.0655324	1000
繰り返し2回目	2746229	0.0167003	724
繰り返し3回目	434988	0.0026452	113
繰り返し4回目	55726	0.0003389	25
繰り返し5回目	8359	0.0000508	1
繰り返し6回目	1761	0.0000107	0
繰り返し7回目	520	0.0000032	0
繰り返し8回目	261	0.0000016	0

【0059】また、表2には、繰り返し復号毎に測定した見逃し誤りの回数と誤りのあった誤り検出符号の数とを示す。また、この見逃し誤りの回数と誤りのあった誤り検出符号の数との比率も示す。このシミュレーション\*20

\* 結果は、表1に示した場合と同じ条件のもとに行った場合の例であり、表に示す値はシミュレーションの際の条件に応じて適宜変更される。

【表2】  
繰り返し回数ごとの見逃し誤りの回数とビット誤り  
のあった誤り検出符号の数に占める比率

	比率	見逃し誤り	誤りのあった 誤り検出符号の数
繰り返し1回目	0.00394	1000	253759
繰り返し2回目	0.00323	724	223930
繰り返し3回目	0.00155	113	72817
繰り返し4回目	0.00266	25	11042
繰り返し5回目	0.00060	1	1664
繰り返し6回目	0.00000	0	319
繰り返し7回目	0.00000	0	76
繰り返し8回目	0.00000	0	36

【0060】上述した表1および表2から明らかなように、繰り返し回数が多くなるほど見逃し誤りの回数は減っていき、誤りのある誤り検出符号の数に対する見逃し誤りの回数の比率も減少している。

【0061】ここで、上述する表1および表2に示す例において設定される繰り返し拘束回数の例について説明する。なお、以下に説明する繰り返し拘束回数の設定方法は一例であり、本発明における繰り返し拘束回数の設定方法はこの例に限られない。繰り返し拘束回数は、上述したように見逃し誤りを少なくするために繰り返し復号を最低限行う回数である。許容される見逃し誤りの数はシステムの設定において異なるが、全く見逃し誤りが発生しない回数に繰り返し拘束回数を設定することは処理遅延や消費電力が増大するので標準的なシステムにお

いては考えられない。一方、表1および表2に示した例においては、1回や2回の繰り返し拘束回数では見逃し誤りが多く発生しているので、1回や2回を繰り返し拘束回数とすることも標準的なシステムにおいては妥当でない。したがって、表1および表2に示す例のような伝走路環境下のシステムでは繰り返し拘束回数は3回～5回の間で決められる。尚、繰り返し拘束回数を多くすると復号結果の品質は向上するが装置における消費電力は増大するので、繰り返し拘束回数は、システムにおいて要求される復号結果の品質や消費電力を考慮して3回から5回の間で設定されるのが妥当である。

【0062】上述した繰り返し拘束回数は、システムの設定によって適宜選択して設定される。例えば、本実施の形態に係る復号装置とインナーループの送信電力制御

を行う装置とを組み合わせた場合には、繰り返し拘束回数は送信電力の目標受信品質等の設定基準に応じて決定される。インナーループの送信電力制御のうちクロズドループ送信電力制御は、受信側で目標とする受信品質（例えば、受信信号の信号対干渉比（SIR : Signal to Interference Ratio））を目標受信品質として予め設定しておき、この目標受信品質と実際に測定した受信品質を比較して、測定した受信品質が目標受信品質よりも悪い場合には、通信相手に対して送信電力を上げる旨を指示する送信電力制御信号を送信し、逆に、測定した受信品質が目標受信品質よりも良い場合には、通信相手に対して送信電力を上げる旨を指示する送信電力制御信号を送信し、送信側で送信電力制御信号に応じて送信電力の増減を行う。このようなクロズドループ送信電力制御において、設定される目標受信品質が比較的良好な値である場合には、繰り返し復号を用いた誤り訂正復号において比較的繰り返し回数の少ない段階で誤りを訂正できる。したがって、設定される目標受信品質が良い値であるほど、少ない繰り返し回数で見逃し誤りが許容範囲に収まる程度まで誤り率が改善するので、繰り返し拘束回数を少ない回数に設定すれば良い。逆に、クロズドループ送信電力制御において、設定される目標受信品質が比較的良好な値である場合には、繰り返し復号を用いた誤り訂正復号において比較的繰り返し回数を多く行なうまで誤りの訂正ができない。したがって、設定される目標受信品質が悪い値であるほど、見逃し誤りは後の繰り返しまで残存するので、繰り返し拘束回数を長い回数に設定すればよい。

【0063】以上のような事情に鑑みて、本実施の形態に係る復号装置と、クロズドループ送信電力制御を行う装置とを組み合わせる場合には、繰り返し拘束回数は設定される目標受信品質に応じて決定される。また、本実施の形態に係る復号装置を、電力制御を持たない通信システムで用いる場合には、そのシステムにおける平均的な受信品質の良否などを基に繰り返し拘束回数を決定すればよい。

【0064】次に、図6を参照して本実施の形態に係る繰り返し復号処理の手順について説明する。図6は、本発明の実施の形態1に係る繰り返し復号処理の手順を説明するフロー図である。まず、ステップ（以下、「ST」と省略する）601で、カウンタ501の設定値（繰り返し回数）を初期化する。次に、ST602では、ターボ復号器301が、受信信号と前回の誤り訂正復号により得られた軟判定結果（事前尤度）を用いて、誤り訂正復号を行う。ただし、繰り返しの初回は事前尤度として「0」が用いられる。次にST603では、誤り検査器302が誤り検出符号を復号して、誤りの有無を検査する。次に、ST604では、カウンタ501の設定値（繰り返し回数）とメモリ502に記憶された“繰り返し拘束回数”とが比較され、カウンタ501で

カウントした繰り返し回数の方が大きい場合等しい場合にはST605に移行し、小さい場合にはST607に移行する。

【0065】ST605では、ターボ復号器301の復号結果を図示しない復号結果出力メモリに出力する。ST606では、ST603で得られた誤りの有無の検査結果が参照されて、ターボ復号器301の復号結果に含まれる誤りの有無が判断される。そして、誤りがあると判断される場合にはST607に移行し、誤りが無いと判断される場合には繰り返し復号を終了する。ST607では、カウンタ501の設定値をインクリメントしてST601に移行し、繰り返し復号を継続する。このように、本発明における繰り返し復号処理においては、既に“繰り返し拘束回数”を超えた回数の繰り返しを行っており、且つ、復号結果に誤りが検出されなかった場合にターボ復号器301の繰り返し復号が終了する。

【0066】以上説明したように、本実施の形態においては、繰り返し回数が“繰り返し拘束回数”より少ない場合には、誤り検出符号による誤り検査の結果にかかわらず繰り返し復号を継続するので、見逃し誤りが発生し易い繰り返しの初期の段階で繰り返し復号を終了することが無い。したがって、復号結果に見逃し誤りが残っている場合に、繰り返し復号を終了することが少ないので、信頼度の高い復号結果を得ることが出来る。また、繰り返し回数が“繰り返し拘束回数”以上になってからは、誤り検出符号による誤り検査において誤りが無いと判断された場合に繰り返し復号を終了するので、処理時間を短縮することができる。

【0067】尚、以上の説明では、ターボ符号化部102は、2つの再帰的組織畳み込み符号器を並列に配置したが、再帰的組織畳み込み符号器を3つ以上備えて送信情報ビット列を符号化しても良い。さらに、符号化後の符号化系列に対してパンクチャなどの間引き処理を行なってもよい。これらの場合には、送信側での符号器の数に応じた軟出力復号を行なう誤り訂正復号器を備え、間引かれたデータにゼロを穴埋めする回路を備えた構成とすればよい。

【0068】軟出力復号器401および軟出力復号器403における復号アルゴリズムとしては、MAP（Maximum A Posteriori Probability decoding : 最大事後確率復号）アルゴリズムやSOVA（Soft-Output Viterbi Algorithm : 軟出力ビタビ復号アルゴリズム）を用いればよい。

【0069】また、本実施の形態においては、受信側に備えられた復号器としてターボ復号器301を用いたが、本発明に適用可能な復号器はこれに限られず、誤り訂正復号を繰り返し行うことにより受信した符号化系列を復号する復号器に適用可能である。本発明に係る復号器としてターボ復号器以外の復号器を採用した場合には、その採用した復号器に対応する符号器が送信側に備

えられる。

【0070】また、本実施の形態においては、繰り返し回数が“繰り返し拘束回数”に達しない場合にも誤り検査器302で誤りの有無を検査しているが、ターボ復号器301は誤り検査の結果によらず“繰り返し拘束回数”に達するまでは繰り返し処理を継続するので、繰り返し回数が“繰り返し拘束回数”に達しない場合には、誤り検査器302は誤りの有無を検査しなくとも良い。これにより、繰り返し復号の際に消費される消費電力を低減することができる。

【0071】さらに、本実施の形態では、繰り返し復号が“繰り返し拘束回数”以降の繰り返し回数の中には、常に復号結果を出力し、復号結果出力メモリに復号終了時の復号結果が最終的に上書されるようにしたが、復号終了時の復号結果のみを出力するようにしても良い。また、逆に、繰り返し拘束回数未満の繰り返し回数の中でも、常に復号結果を出力し、復号終了時の復号結果が最終的に上書されるようにしてもよい。

【0072】また、本実施の形態では、繰り返し復号の各回ごとに常に誤り検出を行なうようにしたが、繰り返し拘束回数未満の繰り返し回数の中には誤り検出を行なわないようにしても良い。これにより、誤り検出処理の回数が減るので、処理負担を軽減することが出来、消費電力を抑えることが出来る。

【0073】（実施の形態2）本実施の形態では、繰り返し復号を行う復号器に入力される符号化系列（誤り訂正符号）に複数の誤り検出符号が含まれている場合に、繰り返し復号の繰り返し回数を最適化する手法について説明する。

【0074】図7は、本発明の実施の形態2に係る無線通信システムにおける符号化から復号までのデータの変化の流れを示す図である。この図に示すように、情報ビット列#1～情報ビット列#4は、まず送信側においてそれぞれ誤り検出符号化され、誤り検出符号#1～誤り検出符号#4が生成される。誤り検出符号#1～誤り検出符号#4は、相互に結合されて誤り訂正符号化され、誤り訂正符号化された符号化系列が得られる。この符号化系列（誤り訂正符号）には4つの誤り検出符号が含まれている。誤り訂正符号に含まれる誤り検出符号の数は、4つに限らず、1つ以上の任意の数で良い。以下、本実施の形態においては、誤り訂正符号に4つの誤り検出符号が含まれている場合を例に説明する。

【0075】誤り訂正符号化された符号化系列は、伝送路で雑音を付加されて、受信側で受信される。受信側では、受信した符号化系列に対して誤り訂正復号を繰り返し行って復号し、ひとまとまりの復号結果を得る。この復号結果には、誤り検出符号#1～誤り検出符号#4が含まれている。この復号結果は、誤り検出符号#1～誤り検出符号#4に分割される。誤り検出符号#1～誤り検出符号#4は、それぞれ復号されて情報ビット列#1

～情報ビット列#4が得られる。また、誤り検出符号#1～誤り検出符号#4を復号することにより、各誤り検出符号に含まれていた情報ビット列#1～情報ビット列#4に残存する誤りの有無を検査することが出来る。

【0076】図8は、本発明の実施の形態2に係る繰り返し制御器303の構成を示すブロック図である。本実施の形態に係る無線通信システムの構成は、繰り返し制御器303の内部構成以外は実施の形態1と同じ構成を有する。そこで、実施の形態1と同じ部分には同じ符号を付して、その詳しい説明は省略する。

【0077】図8に示すように、本実施の形態に係る繰り返し制御器303は、誤り訂正符号に含まれる誤り検出符号を計数する誤り検出符号カウンタ801と、誤り検出符号に対応した数の誤り検査結果フラグを記憶するフラグ用メモリ802と、誤り検査結果フラグなどを参照してターボ復号器301における繰り返し復号を終了させるか否かを判定する判定回路803と、判定回路803の制御に応じてターボ復号器301の復号結果を最終的な復号結果として出力する出力制御回路804と、から主に構成される。

【0078】次いで、上記構成を有する繰り返し制御部303の動作について説明する。誤り検出符号カウンタ801は、ターボ復号器301の復号結果に含まれる誤り検出符号の数を計数し、その計数したカウント数を判定回路803に出力する。すなわち、誤り検出符号カウンタ801にはカウント数の初期値として「1」が設定されており、ターボ復号器301が1回分の繰り返しを行う間に、誤り検出符号が誤り訂正復号結果として出力される毎に、カウント数を「1」から順に誤り訂正符号に含まれている誤り検出符号の数の分だけ1刻みでインクリメントして出力する。例えば、図7に示すように誤り訂正符号が4つの誤り検出符号を含んでいる場合には、誤り検出カウンタ801は、1回の繰り返しの間に「1」、「2」、「3」、「4」を順に出力する。

【0079】フラグ用メモリ802には、誤り検出符号と同じ数の誤り検査結果フラグが記憶されている。誤り検査結果フラグは、ターボ復号器301で繰り返し復号している符号化系列に含まれる誤り検出符号のうち、誤りが無いと判断された誤り検出符号を見分けるための目印として使用する。この誤り検査結果フラグについて具体的に説明する。

【0080】まず、誤り検査器302は、ターボ復号器301の復号結果に含まれている誤り検出符号ごとに誤りを検査し、その誤り検査結果を示す検査結果信号（OK信号またはNG信号）を、誤り検出符号ごとにフラグ用メモリ802に出力する。誤り検査結果フラグには初期値として「0」が設定されている。誤り検査結果フラグは、誤り検査器302から出力される検査結果信号に応じて更新される。すなわち、フラグ用メモリ802では、検査結果信号としてOK信号が入力されると、その

誤り検出符号に対応する誤り検査結果フラグが「1」に更新される。誤り検査結果フラグは、繰り返し復号の途中で1度「1」が設定されると、復号中の符号化系列に対する繰り返し復号が終了するまでは「1」のままである。このように、誤り検査結果フラグは、繰り返し復号中に復号結果が1度以上誤り無しとなったか否かを示す。つまり、誤り検査結果フラグに「1」が設定されている誤り検出符号は、既に1度以上誤り無しとなったことがあり、誤り検査結果フラグに「0」が設定されている誤り検出符号は、まだ1度も誤り無しとなったことがない。

【0081】判定回路803は、フラグ用メモリ802から読み出した誤り検査結果フラグと、誤り検出符号カウンタ801から出力される誤り検出符号のカウント数と、誤り検査器302から出力される誤り検出結果と、を用いて、ターボ復号器301における繰り返し復号を終了するか否かの判定と、ターボ復号器301から出力制御回路804に出力された復号結果を出力するか否かの判定を行う。

【0082】まず、繰り返し復号を終了するか否かの判定について説明する。判定回路803は、繰り返し復号において1回の繰り返しが終了する毎に、復号中の符号化系列に含まれる全ての誤り検出符号について、誤り検査結果フラグが「1」になっているか、今回の誤り検出の結果が誤り無しとなくなれば、ターボ復号器301の繰り返し復号を終了すると判定し、1つでも、誤り検査結果フラグが「1」でなく、且つ、今回の誤り検出の結果も誤り有りになっている誤り検出符号があれば繰り返し復号を継続すると判定する。復号中の符号化系列に含まれる全ての誤り検出符号について、誤り検査結果フラグが「1」か今回の誤り検出の結果が誤り無しの場合は、全ての誤り検出符号が誤り検査器302において既に1度以上誤り無しになったと判定されたことになる。したがって、全ての誤り検出符号が既に1度以上誤り無しとなったため、繰り返し復号を終了すると判定する。判定回路803は、繰り返し復号を終了すると判定した場合には、ターボ復号器301に対して現在の符号化系列の繰り返し復号を終了させる制御を行う。ターボ復号器301は、判定回路803の制御に従って繰り返し復号を終了する。

【0083】次いで、出力制御回路804に出力された復号結果を出力するか否かの判定について説明する。判定回路803は、誤り検出符号に対応する誤り検査結果フラグがすでに「1」に設定されている場合は、すなわち、前回までの繰り返し復号で1度も誤り無しとなったことがない場合には、その「1」に設定されている誤り検査結果フラグに対応する誤り検出符号（ターボ復号器301の復号結果）を出力しないと判定する。逆に、誤り検出符号に対応する誤り検査結果フラグが「0」に設定されている場合は、すなわち、前回までの繰り返し復

号ですでに1度以上誤り無しとなっている場合には、その「0」に設定されている誤り検査結果フラグに対応する誤り検出符号（ターボ復号器301の復号結果）は出力すると判定する。判定回路803は、復号結果を出力すると判定した場合には、出力制御回路804に対して、ターボ復号器から出力された復号結果のうち、出力すると判定した復号結果のみを出力するように指示する。出力制御回路804には、ターボ復号器301から繰り返し復号の復号結果（ここでは、誤り検出符号#1～誤り検出符号#4）が出力される。出力制御回路804は、ターボ復号器301から出力された誤り検出符号のうち、判定回路803から出力指示のあった誤り検出符号を復号結果として図示しないメモリに出力する。このメモリは繰り返し制御器303から出力される復号結果を保持するために設けられる。これにより、誤り検出符号ごとに初めて誤り無しとなった復号結果が最終的に復号結果出力用の領域に出力されている状態となる。

【0084】図10は、フラグ用メモリ802に記憶された誤り検査結果フラグの更新経過の一例について示す図である。この図には、ターボ復号器301の復号結果（誤り検出符号#1～誤り検出符号#4）ごとに誤り検査フラグの更新経過を示す。この図に示すように、それぞれの誤り検査結果フラグには初期値として「0」が設定されている。誤り検出符号#1に含まれる情報ビット列は、1回目の繰り返しにおいて誤り無しと判断されたため、この誤り検出符号#1に対応する誤り検査結果フラグは、1度目の繰り返しを終了した時点で「1」に更新され、以後「1」のまま変更されない。誤り検出符号#2に含まれる情報ビット列は、3回目の繰り返しにおいて始めて誤り無しと判断されたので、この誤り検出符号#2に対応する誤り検査結果フラグは、3回目の繰り返しを終了した時点で「1」に更新される。同様に、誤り検出符号#3に対応する誤り検査結果フラグは、6回目の繰り返しを終了した時点で「1」に更新され、誤り検出符号#4に対応する誤り検査結果フラグは、2回目の繰り返しを終了した時点で「1」に更新される。このように、図10に示す例では、6回目の繰り返しを終了した時点で、誤り検査結果フラグが全て「1」に更新される。したがって、6回目の繰り返しを終了した時点で、全ての誤り検出符号について1度以上誤り無しと判定されるので、6回の繰り返しで繰り返し復号を終了する。

【0085】誤り検査結果フラグが図10に示す更新経過をたどる場合には、誤り検出符号#1については、1回目の繰り返し復号により得られた復号結果が出力され、2回目以降の繰り返し復号で得られた復号結果は出力されない。また、誤り検出符号#2については、1回目から3回目までの繰り返し復号により得られた復号結果が出力され、4回目以降の繰り返し復号で得られた復号結果は出力されない。結果として最終的に復号結

果を保持するメモリには3回目の繰り返し復号により得られた復号結果が記憶される。誤り検出符号#3については、1回目から6回目までの繰り返し復号により得られた復号結果が出力され、7回目以降の繰り返し復号で得られた復号結果は出力されないで、結果として最終的に復号結果を保持するメモリには6回目の繰り返し復号により得られた復号結果が記憶される。誤り検出符号#4は、1回目から2回目までの繰り返し復号により得られた復号結果が出力され、3回目以降の繰り返し復号で得られた復号結果は出力されないで、結果として最終的に復号結果を保持するメモリには2回目の繰り返し復号により得られた復号結果が記憶される。結果として、最終的な誤り訂正復号結果を保持するメモリには、誤り検出符号#1～#4について、それぞれ繰り返し復号の1回目、3回目、6回目、2回目に得られた復号結果が記憶される。

【0086】次に、図9を参照して本実施の形態における繰り返し復号処理の手順について説明する。図9は、本発明の実施の形態2における繰り返し復号処理の手順を説明するフロー図である。

【0087】まず、ステップ(ST)901において、フラグ用メモリ802に記憶された誤り検査結果フラグを初期化し、ST902に移行する。ST902では、受信信号と前回の誤り訂正復号による軟出力復号結果(事前尤度)とを用いて誤り訂正復号を開始する。ただし、繰り返しの初回は事前尤度として0が用いられる。ST903では、誤り検出符号のカウント数を出力する誤り検出符号カウンタ801を初期化する。ST904では、ターボ復号器301から誤り検出符号が出力される毎に繰り返し復号の復号結果に含まれる誤り検出符号を復号を開始し、その誤り検出符号の繰り返し復号結果に残存する誤りの有無を検査する処理を始める。

【0088】ST905では、誤り検出符号カウンタ801からカウント数として「1」が出力され、この「1」に対応する誤り検出符号#1の誤り検査結果フラグを検査し、誤り検査結果フラグが「0」(未だ誤り無しとなったことがない)であればST906に移行し、誤り検査結果フラグが「1」(既に誤り無しとなったことがある)であればST909に移行する。なお、1度目の誤り訂正処理の場合は、フラグ用メモリ802には初期値「0」が記憶されているので、常にST906に移行する。ST906では、繰り返し復号により得られた復号結果のうち、誤り検出符号カウンタの出力している「1」に対応した誤り検出符号#1の復号結果が出力され、ST907に移行する。ST907では、ST903における誤り検査により誤り無しと判断された場合にはST908に移行し、誤り有りと判断された場合にはST909に移行する。ST908では、誤り検出符号#1に対応する誤り検査結果フラグの値を「1」(すでに誤り無しとなったことがある)に変更する。

【0089】ST909では、誤り検出符号カウンタ801から出力されたカウント数と現在繰り返し復号が行われている符号化系列に含まれる誤り検出符号数とを比較し、カウント数が符号化系列に含まれる誤り検出符号の数より少ない場合にはST910に移行し、誤り検出符号カウンタ801から出力されたカウント数が誤り検出符号の数と一致した場合にはST911に移行する。ST910では、誤り検出符号カウンタ801をインクリメントし、ST904に移行し、ターボ復号器301から出力された次の誤り検出符号の誤り検出に移行する。ST909での分岐により、ST905～ST907～ST908～ST909～ST910のループにおける誤り検査結果フラグの更新は、カウント数が符号化系列に含まれる誤り検出符号の数に一致するまで行われる。したがって、このループで行われる処理により、1回の繰り返し復号により出力される復号結果の誤り検査結果が誤り検査結果フラグに反映される。図7に示すように、符号化系列に4つの誤り検出符号が含まれる場合には、誤り検出符号カウンタ801からは、「1」、「2」、「3」、「4」が順に出力される。そして、最後のカウント数「4」について、ST905～ST907～ST908～ST909～ST910のループにおける処理が行われると、カウント数が誤り訂正符号に含まれる誤り検出符号の数に一致し、ターボ復号器301からの今回の繰り返し復号での出力も終了しているので、ST909からST911に移行する。

【0090】一方、ST911では、符号化系列に含まれている誤り検出符号#1～誤り検出符号#4のそれぞれに対応する誤り検査結果フラグを検査し、いずれかの誤り検出符号について誤り検査結果フラグが「0」(未だ誤り無しとなったことがない)に設定されている場合には、ST902に移行する。ST902では、次の誤り訂正復号が開始される。つまり、ST902に移行すると、繰り返し復号が継続され、上述した復号結果の誤り検出結果に応じて誤り検査結果フラグを更新する処理が再び開始される。ST911では、誤り検査結果フラグがすべての誤り検出符号について「1」(既に誤り無しとなったことがある)の場合には、繰り返し復号を終了する。

【0091】以上説明したように本実施の形態においては、複数の誤り検出符号を含む符号化系列に対して誤り訂正復号を繰り返し行い、符号化系列に含まれる全ての誤り検出符号について1度以上誤り無しと判定されると繰り返し復号を終了する。したがって、本実施の形態に係る繰り返し回数の制御手法によれば、繰り返し復号の各繰り返しにおいて復号中の符号化系列に含まれる全ての誤り検出符号が同じ繰り返し回数において誤り無しと判定された場合に繰り返し復号を終了する手法よりも、繰り返し回数を短縮することが出来る。

【0092】尚、本実施の形態においては、誤り検査結

果フラグの値にかかわらず誤り検出復号を行ったが、誤り検査結果フラグが「1」に更新された後の誤り検出結果は繰り返し復号の繰り返し回数を制御する際に考慮されないの、誤り検査結果フラグが「1」に更新された後は誤り検出を行わなくとも良い。これにより、復号装置の処理負担を軽減することが出来、消費電力を抑えることが出来る。

【0093】また、本実施の形態では、繰り返し復号の復号結果の誤り検査結果が初めて誤り無しとなった時に、その誤り無しと判定された復号結果を出力制御回路 804 から最終的な復号結果として出力し、メモリに記憶する制御を行う場合について説明したが、その後の繰り返し復号において、誤り検査の結果により復号結果が再び誤り無しと判定される場合には、2回目以降の誤り無しの判定であっても復号結果を上書きして出力するようにしてもよい。

【0094】また、本実施の形態では、符号化系列に含まれる全ての誤り検出符号について1度以上誤り無しと判定されると繰り返し復号を終了するが、繰り返し回数 20 の上限を予め設定しておき、その上限の繰り返し回数までに1度も誤り無しと判定されていない誤り検出符号がある場合でも、上限の繰り返し回数だけ繰り返し復号を行ったときに繰り返し復号を終了するようにしても良い。このように繰り返し回数の上限を設けることにより、繰り返し回数が長くなって処理遅延や消費電力が増加するなることを防止することが出来る。伝送路において符号化系列に大きな雑音を加えられた場合には、繰り返し復号を継続しても全ての誤り検出符号について誤り無しとならない場合があるので、伝播路環境が一定でないような通信システムで本実施の形態を用いる場合に上 30 限を設けることが有効となる。

【0095】また、本実施の形態は、実施の形態1と組み合わせることも可能である。すなわち、繰り返し回数の繰り返し拘束回数を設定し、繰り返し回数が繰り返し拘束回数以上になり、かつ、誤り検査により繰り返し復号の復号結果に誤りが無いと判定された場合に誤り検査結果フラグを「1」に更新するようにする。逆に、繰り返し回数が繰り返し拘束回数よりも少ない場合には誤り検査結果フラグを「0」のまま更新しない。このように、繰り返し回数が繰り返し拘束回数よりも少ない場合には誤り検査結果フラグを「0」のまま更新しないことで、繰り返し回数が多くなることによる処理遅延を防止することが出来るとともに、繰り返し復号の初期の段階で起こり易い見逃し誤りによる伝送品質の劣化を防止することも出来る。

【0096】また、上述したように本実施の形態を実施の形態1と組み合わせる際に、複数の誤り検出符号の全てが同じ繰り返し回数において誤り無しと判定された場合に、繰り返し回数が繰り返し拘束回数以下であっても繰り返しを終了するようにしても良い。これによ 50

り、繰り返し回数を減らして、復号処理の処理時間を短縮することが出来る。

【0097】上記各実施の形態に係る無線通信システムを、セルラーシステムに適用する。基地局に復号部108を搭載し、この基地局装置のセル内に收容された移動局などの通信端末に符号化部101を搭載する。また、逆に基地局に符号化部101を搭載し、この基地局装置のセル内に收容された移動局などの通信端末に復号部108を搭載する。基地局と通信端末との間で、上述した符号化から復号までの動作を行うことにより、適当な繰り返し回数の繰り返し復号を行って、所望の伝送品質を確保しつつ処理遅延を低減を図る。

【0098】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、繰り返し復号における繰り返し回数が少ない段階では、繰り返し復号の復号結果から誤りが検出されなくとも繰り返し復号を継続する。これにより、見逃し誤りによる伝送品質の劣化を防止することが出来る。また、繰り返し回数の繰り返し拘束回数を設定し、繰り返し回数が繰り返し拘束回数を超えた場合には、誤り検査の結果によって誤りが無いと判定された場合に繰り返し復号を終了する。これにより、不必要な繰り返しを行わないので、繰り返し回数を短縮し、処理遅延を軽減することが出来る。

【0099】また、本発明によれば、複数の誤り検出符号を含む符号化系列に対して誤り訂正復号を繰り返し行い、符号化系列に含まれる全ての誤り検出符号について1度以上誤り無しと判定されると繰り返し復号を終了する。したがって、繰り返し復号の各繰り返しにおいて復号処理を行っている符号化系列に含まれる全ての誤り検出符号が同じ繰り返し回数において誤り無しと判定された場合に繰り返し復号を終了する手法よりも、繰り返し回数を短縮することが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態1に係る無線通信システムの構成を示すブロック図

【図2】本発明の実施の形態1に係るターボ符号化部102の構成を示すブロック図

【図3】本発明の実施の形態1に係る復号部108の構成を示すブロック図

【図4】本発明の実施の形態1に係るターボ復号器301の構成を示すブロック図

【図5】本発明の実施の形態1に係る繰り返し制御器303の構成を示すブロック図

【図6】本発明の実施の形態1に係る繰り返し復号処理の手順を説明するフロー図

【図7】本発明の実施の形態2に係る無線通信システムにおける符号化から復号化までの流れを示す図

【図8】本発明の実施の形態2に係る繰り返し制御器303の構成を示すブロック図

【図9】本発明の実施の形態2における繰り返し復号処理の手順を説明するフロー図

【図10】フラグ用メモリ802に記憶された誤り検査結果フラグの更新経過の一例について示す図

【図11】ターボ復号器により繰り返し復号した復号結果のBERとSIRとの関係を繰り返し回数毎に示す図

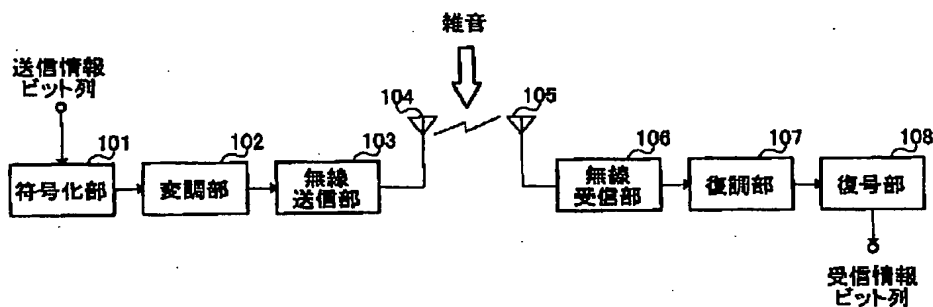
【符号の説明】

101 符号化部  
108 復号部  
301 ターボ復号器

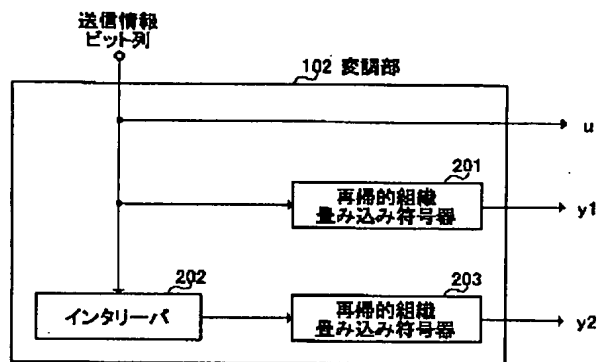
\* 302 誤り検査器  
303 繰り返し制御器  
406 バッファ  
501 カウンタ  
502 メモリ  
503、803 判定回路  
504、804 出力制御回路  
801 誤り検出符号カウンタ  
802 フラグ用メモリ

\*10

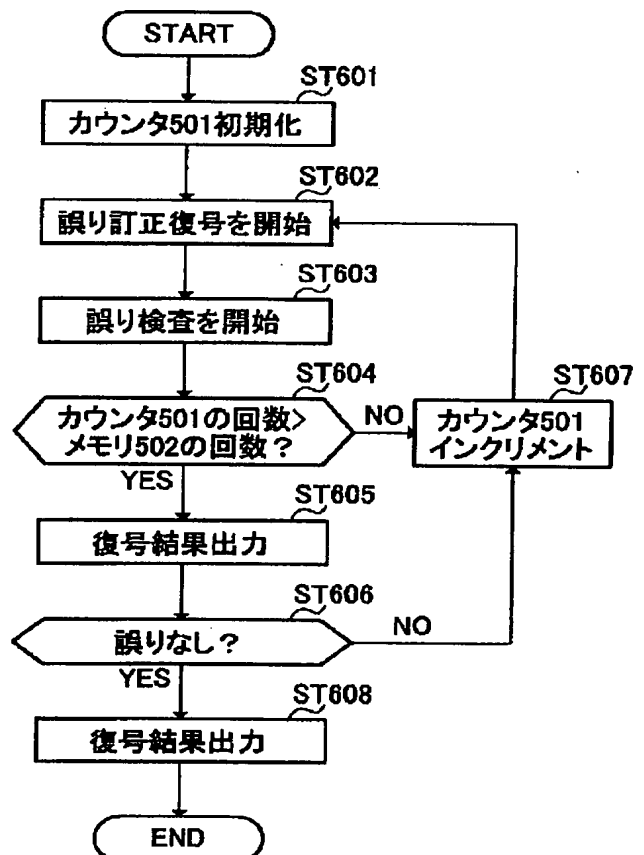
【図1】



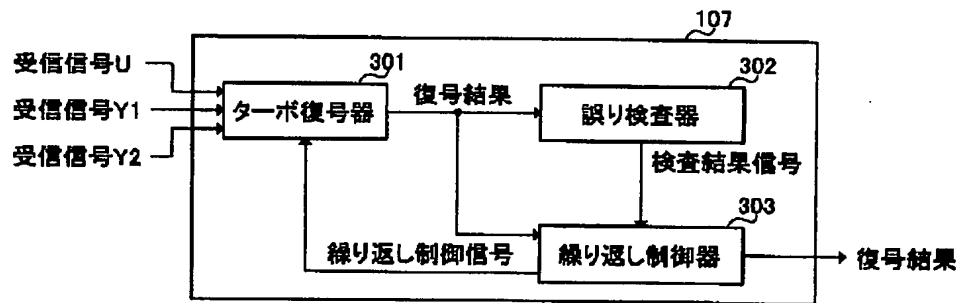
【図2】



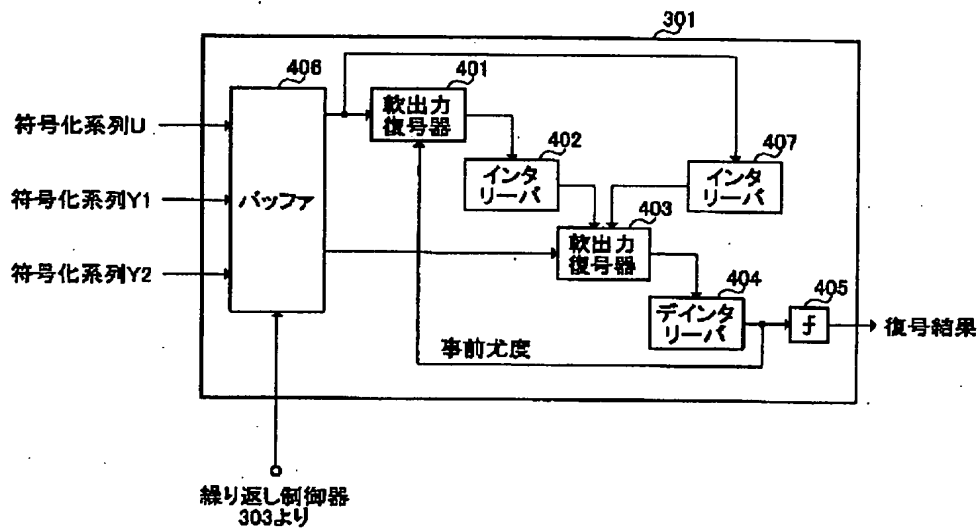
【図6】



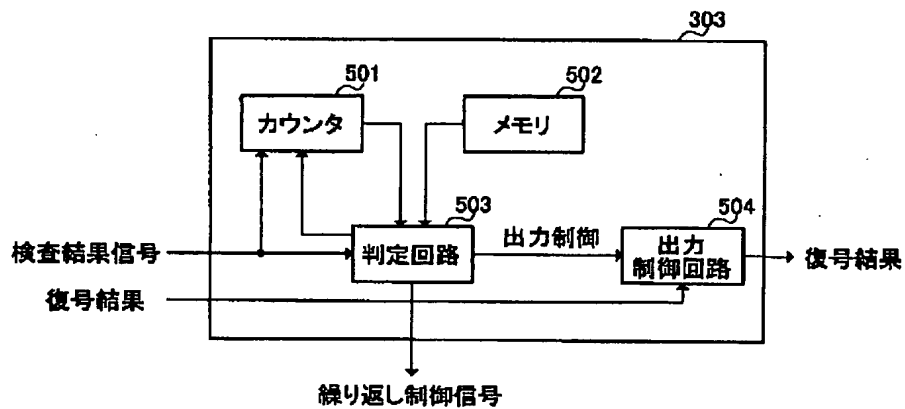
【図 3】



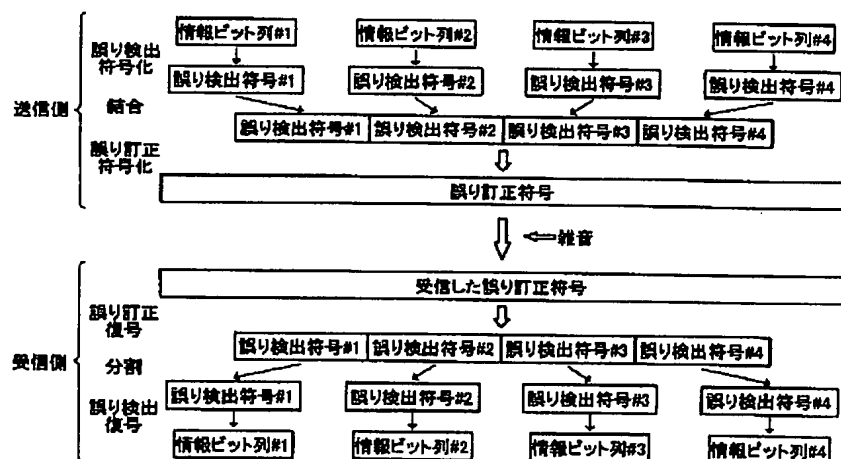
【図 4】



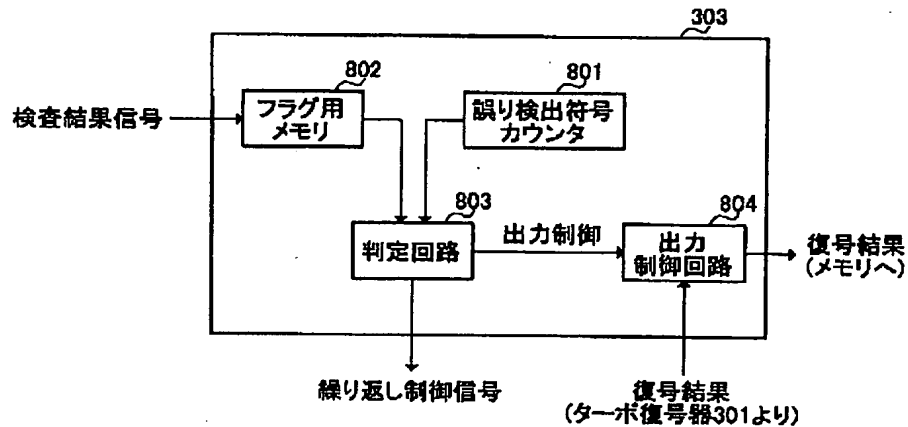
【図 5】



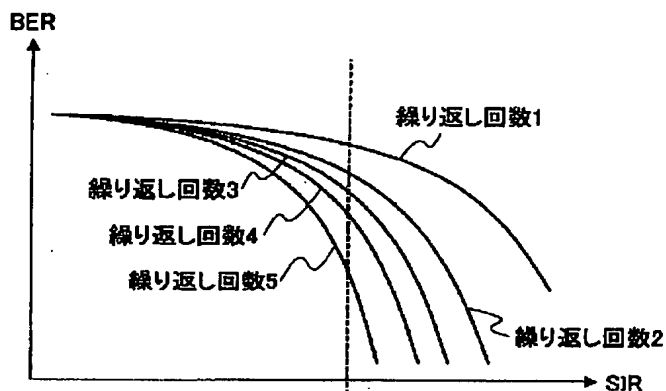
【図7】



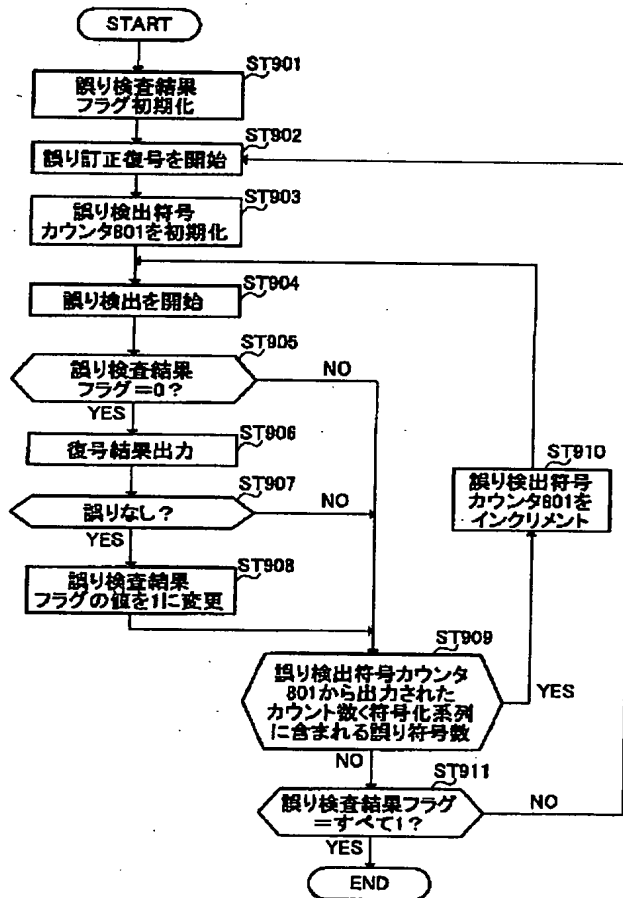
【図8】



【図11】



【図9】



【図10】

繰り返し回数	誤り検出符号#1	誤り検出符号#2	誤り検出符号#3	誤り検出符号#4
初期値	0	0	0	0
1回	1	0	0	0
2回	1	0	0	1
3回	1	1	0	1
4回	1	1	0	1
5回	1	1	0	1
6回	1	1	1	1
7回				
8回				

更新 ↓